

**УДК 621.181**

О.М. Кокшарев, магистрант гр. 5ВМ5А (НИ ТПУ)  
Научный руководитель А.В. Гиль, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)  
г. Томск

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ТОПКЕ ПРИ СЖИГАНИИ РАЗЛИЧНЫХ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ**

Использование твердых топлив на ТЭС представляется весьма затратным процессом вследствие дорогостоящей доставки (как правило железнодорожным транспортом), подготовки к сжиганию и удалению минеральной составляющей. Если до недавнего времени наибольшую долю затрат составляли транспортные расходы, то в настоящее время с ужесточением экологических требований возрастают затраты на оплату выбросов вредных веществ. В связи с этим наименее эффективным представляется сжигание высокозольных углей, поскольку минеральная составляющая (балласт) также перевозиться в вагонах и помимо увеличения объемов перевозимого топлива отражается на увеличении выбросов твёрдых частиц в атмосферу и нагрузки на золоотвал [1]. Одним из вариантов решения подобной проблемы является перевод котельного агрегата на другой уголь с меньшей зольностью. Однако использование углей с различными качественными характеристиками зачастую приводит к нарушению устойчивости горения, шлакованию поверхностей нагрева котлов, снижению размольной производительности мельниц, уменьшению нагрузки котлов и повышенным выбросам в окружающую среду вредных веществ [2].

В данной работе исследуются физико-химические процессы, протекающие в топочной камере при замещении высокозольного экибастузского угля, борлинским и кузнецким.

Прогнозировать и анализировать процессы горения в топочной камере используя, теоретические и экспериментальные подходы, в значительной мере затруднительно. Поскольку температурный уровень в зоне горения достигает  $1550^{\circ}\text{C}$ , а пристеночный слой в значительной степени запылен, то возможность использования измерительных приборов ограничена, и анализ полученных результатов распространяется на отдельные локальные субзоны. Использование нормативных методик расчета котельного агрегата позволяет оценить ограниченное количество параметров (температура на выходе из топки, тепловое напряжение и др.), осредненные по сечению либо по объему, что так же не позволяет интерпретировать полученные результаты с высокой достоверностью на отдельные области в топочной камере [3].

Использование методов математического моделирования позволяет решить задачи исследования аэродинамики и горения в трех- и двухмер-

ном виде в топочном объеме с учетом всех происходящих физико-химических процессов и анализировать полученные результаты во всем или в любом локальном объеме топочной камеры [4].

В качестве объекта исследования негативных процессов при использовании экибастузского угля выбран котельный агрегат БКЗ-420-140-2, имеющий типичные конструктивные решения для организации сжигания экибастузского угля. Вихревые горелочные устройства располагаются встречно, улучшая процесс воспламенения. Компоновка котла Т-образная.

Численное моделирование исследуемой топочной камеры проводилось с использованием специализированного пакета прикладных программ FIRE 3D [5] основанного на современных подходах и методах математического описания сложных физико-химических процессов и имеющего высокую достоверность результатов.

Изменение средней и максимальной температур в горизонтальных сечениях топки исследуемого котельного агрегата при сжигании экибастузского угля происходит следующим образом (рис. 1). В нижней части топки, примерно на уровне середины холодной воронки значение температуры  $1160^{\circ}\text{C}$ . С увеличением значения координаты высоты топочной камеры температура в топке котла также растет до уровня горелок, понижается, а затем достигает максимума в  $1400^{\circ}\text{C}$  на уровне 10 м. При дальнейшем увеличении координаты высоты топочной камеры температура плавно уменьшается и на выходе из топки имеет значение  $1110^{\circ}\text{C}$ , что не имеет существенных различий с нормативными [6] и экспериментальными.

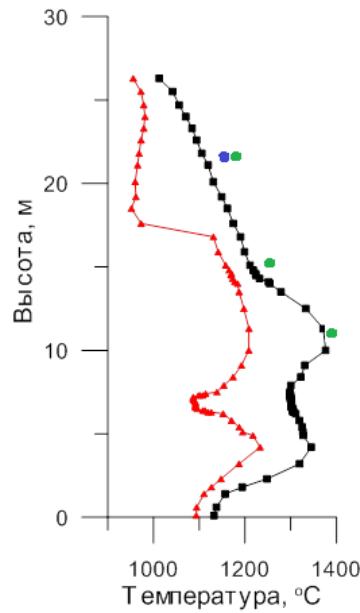


Рисунок 1 – Распределение по высоте топки:

а) — средней температуры, — максимальной температуры, ● - нормативное значение температуры на выходе из топки, ● - экспериментальное значение температуры

Графики изменения максимальной температуры по высоте топки при сжигании проектного и замещающих углей представлен на рисунке 2 (а). Из графика видно, что максимальное значение температуры при сжигании экибастузского угля составляет  $1400^{\circ}\text{C}$ , при сжигании борлинского угля —  $1490^{\circ}\text{C}$ , а при сжигании кузнецкого угля уменьшается, и наибольшее значение температуры в  $1670^{\circ}\text{C}$  наблюдается при наименьшем параметре крутки. Градиент температуры между значением температуры на уровне оси горелок и максимальной при сжигании экибастузского угля составляет  $100^{\circ}\text{C}$ .

Концентрация кислорода имеет максимальные значения на уровне расположения горелочных устройств (рис. 2, б) и в среднем составляет 5 %. Кривые концентрации угарного газа (рис. 2, в) имеют аналогичный профиль, как и у кривых концентрации кислорода, с максимальной концентрацией в зоне ядра горения и минимальной на выходе из топки. Достижение значений СО, близких к нулю, свидетельствует о хорошем выгорании топлива.

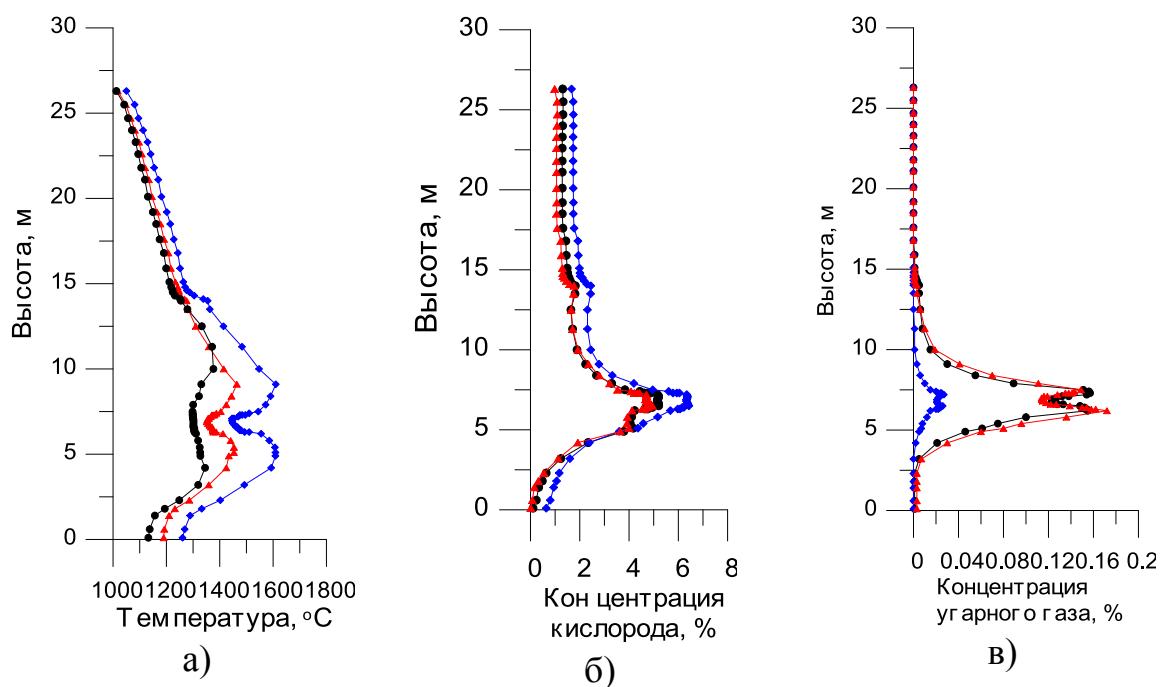


Рисунок 2 – Распределение температуры а), концентрации  $\text{O}_2$  б), концентрации СО в), по высоте топки при сжигании экибастузского (—●—), борлинского (—●—) и кузнецкого (—●—) углей

На рисунке 3 (а) представлены графики изменения температуры по сечению в горизонтальной плоскости для каждой марки угля при одинаковом значении параметра крутки. Из графиков видно, что при

сжигании экибастузского угля наблюдается самый низкий температурный уровень. На глубине 1,8 м значение температуры при сжигании экибастузского угля – 940 К, при сжигании борлинского угля – 1010 К, а при сжигании кузнецкого – 975 К. На глубине 2,175 м значение температуры при сжигании экибастузского угля – 1200 К, при сжигании борлинского угля – 1225 К, а при сжигании кузнецкого угля – 1240 К. На глубине 6 м значение температуры при сжигании экибастузского угля – 1280 К, при сжигании борлинского – 1490 К, а при сжигании кузнецкого – 1460 К.

На рисунке 3,6 представлены графики изменения концентрации угарного газа в горизонтальной плоскости для каждой марки угля при одинаковых значениях параметров крутки. Из графиков видно, что при сжигании экибастузского угля генерируется наибольшее количество угарного газа и значение концентрации на глубине 3,5 м составляет 0,007 %, на глубине 5,8 м – 0,015 %. При сжигании борлинского угля значение концентрации на глубине 3,5 м составляет 0,006 %, на глубине 5,8 м – 0,013 %. При сжигании кузнецкого угля значение концентрации на глубине 3,5 м составляет 0,001 %, на глубине 5,8 м – 0,003 %.

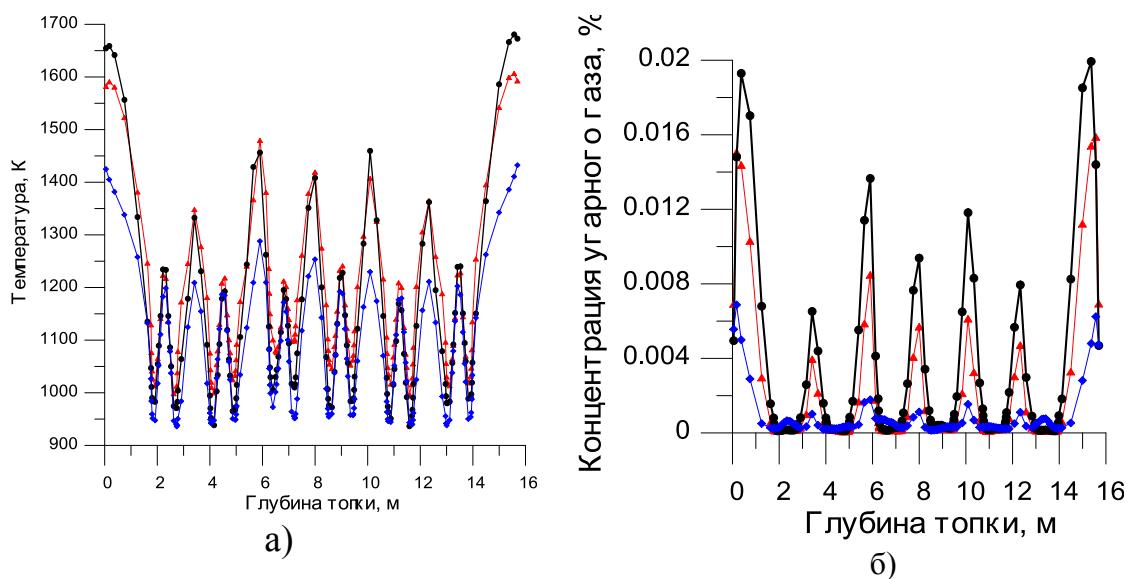


Рисунок 3 – Распределение температуры а), концентрации угарного газа б), в горизонтальном сечении (координата  $y = 6,841$  м) на расстоянии  $x = 0,65$  м от боковой стены при сжигании экибастузского (■), борлинского (▲) и кузнецкого (◆) углей

Оценивая результаты численного моделирования сжигания проектных и непроектных марок углей, можно отметить, что в базовой компоновке и конструкции горелочных устройств наиболее рационально сжигать борлинский уголь, так как при этом варианте наблюдается наиболее интенсивное воспламенение и достаточно полное выгорание топливных частиц. Этот факт доказывается графиками распределений температур, кон-

центраций угарного газа, частиц по высоте и по горизонтальным сечениям. Для сжигания кузнецкого угля можно отметить конструкцию горелочных устройств с наименьшим значением параметров крутки, поскольку в этом случае процессы воспламенения и выгорания топливно-воздушной смеси протекает наиболее эффективно, равномерно и с минимальными потерями.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Гиль А.В., Заворин А.С., Красильников С.В., Обухов С.В., Старченко А.В. Исследование аэродинамики и горения в топке котла БКЗ-420-140 применительно к вариантам замещения проектного топлива // Известия Томского политехнического университета, 2007. – т. 310 – № 1 с. 175–181.
3. Гиль А.В., Заворин А.С., Старченко А.В. Применение численного моделирования топочных процессов для практики перевода котлов на непроектное топливо - Томск : STT, 2011. – 184 с.
4. Гиль А.В., Заворин А.С., Обухов С.В., Старченко А.В. Численный анализ сжигания пылеугольного топлива с различными теплотехническими свойствами в камерной топке котла БКЗ-420-140-2 // Электрические станции. – 2010. – № 11 с. 2–9.
5. Гиль А.В., Старченко А.В. Математическое моделирование физико-химических процессов сжигания углей в камерных топках котельных агрегатов на основе пакета прикладных программ FIRE 3D // Теплофизика и аэромеханика, 2012. – том 19, № 5.
6. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.